

解 説

スラップスケートの利点と長野オリンピックに向けた日本チームの取り組み

結 城 匡 啓*

要旨

長野オリンピック直前にスラップスケートが国際舞台で採用され始め、メダル獲得の期待がかかる短距離種目でこれを用いるか議論された。本稿では、筆者がスラップ使用による力学的・解剖学的な利点を説明しスラップ採用を主張するとともに、500mでの課題、滑走技術およびトレーニング方法への示唆を行った日本スケートチームに対する一連のバイオメカニクスのサポート活動を紹介します。また、研究者の立場で競技力向上を意図して用具開発を提案した2つの事例を報告し、用具開発において選手・コーチと開発メーカーとの間をとりもつコーディネータとしての研究者の役割について考察する。

1. はじめに

長野オリンピック前年のワールドカップ総合ポイント成績。清水選手が500m、堀井選手が1000mでそれぞれ優勝し、地元開催のオリンピックに弾みをつけたかに見えた。その直後、長距離種目から旋風を巻き起こした用具改革「スラップスケート」(以下、スラップ)が短距離種目にも波及した。念願の金メダル獲得を長野で実現させたい。どのコーチもスラップを滑った経験がない状況で、日本のメダル獲得が期待される短距離種目でのスラップの有効性に関する議論が繰り広げられた。

棒高跳びのポールがステンレスからグラスファイバーに変わったとき、陸上競技トラックが土から全天候型タータンに変わったとき、スキーのV字ジャンプが登場したとき、いずれも「早く採り入れた者」が成功した。歴史は繰り返す。地元開催のオリンピックにかかるコーチ・選手の熱い思いが徐々に焦りへと変化中、筆者はスラップに関する情報を集め、科学的な根拠を持って「スラップ採用」を主張した。

本稿では、長野オリンピックで話題を集めたスラップの利点について解説し、スラップ登場からオリンピックまでの競技会に帯同した筆者のバイオメカニクスのサポート活動の例を示しながら日本スピードスケートチームの取り組みについて紹介したい。

2. スラップスケートの利点(～1998長野オリンピック)

(1) スラップスケートのしくみ

図1にスラップスケートの写真を示した。靴とブレードの間につま先から約30mm程度後方に蝶番がついており、キック終盤で蝶番を支点として踵が挙上し、キック終了後に空中でバネにより元に戻るといいうしくみである。踵が挙上する時間は約0.05秒程度といわれている¹⁾。

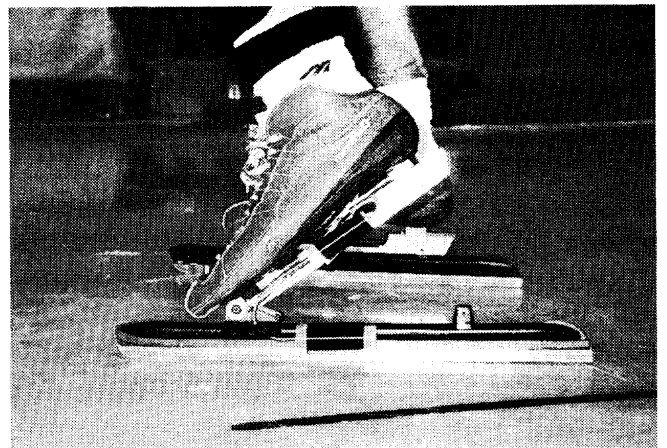


図1 スラップスケートの写真。つま先に支点がありキック終盤で踵が挙上する。離れたブレードは、支点付近に付けられたバネにより空中で閉じるしくみになっている。

(2) 500 mでもスラップを使うべきか?

オリンピック前年のシーズンオフ、異例の強化合宿がエムウェーブで行われ、清水選手と岡崎選手がスラップを用いてトライアルを行った。レース後、即座にレース中のスピード変化を分析し、夜のミーティングに提示した。

図2はその時に用いた資料で、従来のスケートを用いた全日本スプリント選手権のものとスラップスケートを用いた場合での500mレース中のスピード変化を比較したものである。上が

2000年2月17日受付

*信州大学・教育学部 スポーツ科学教育講座
〒380-8544 長野市西長野6-ロ
E-mail: myuki@gipnc.shinshu-u.ac.jp

キーワード: スピードスケート, スラップスケート, 用具革命, オリンピック, フィードバック

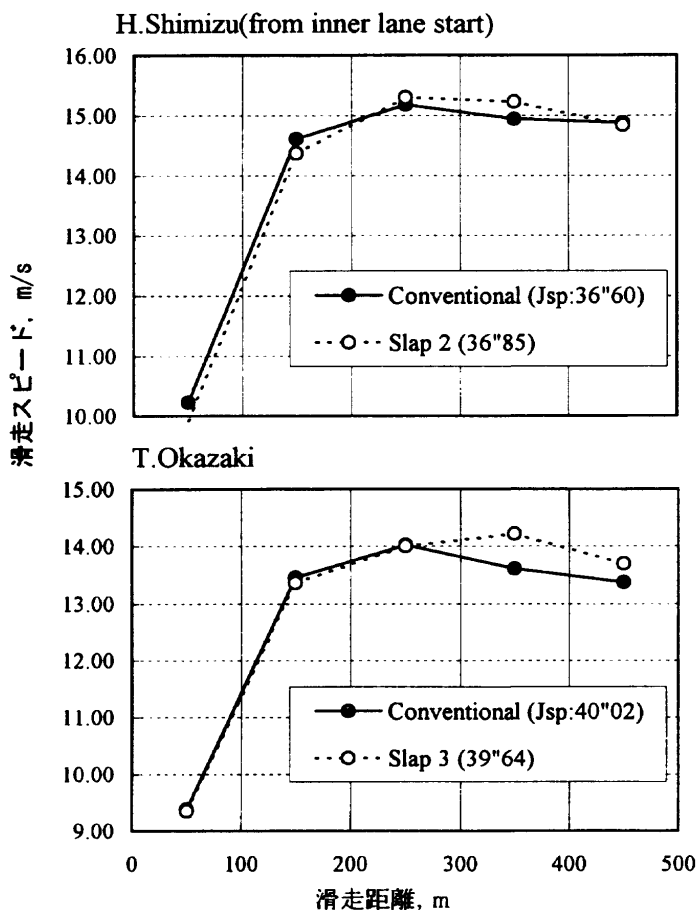


図2 従来型スケートとスラップスケートにおける500mレース中の滑走スピード変化の比較. 上は清水宏保選手, 下は岡崎選手(いずれもエムウェーブにおけるインコーススタートのもの).

清水宏保選手, 下が岡崎選手のものでそれぞれエムウェーブでのインコーススタートによるレース結果である.

両選手とも300~400m区間で出現するトップスピードが, スラップ使用により大きくなるのがわかる. 特に岡崎選手では, 100mの通過が両タイプのスケートではほぼ等しいため, トップスピードの増加によりゴールタイムもよくなっている. 一方, 清水選手は得意の100m通過が10.08秒と従来に比べ約0.3秒遅れていた. そこで, スタートから100mまでの20mごとのスピード変化を比較した.

図3は, スタートから100m通過までの20m区間ごとに求めた滑走スピードの比較である. 清水選手ではスラップを用いた場合はスタートから20mまでの所要時間に約0.3秒の遅れがあった. しかし, 20m以降のグラフの傾きが両タイプのスケートではほぼ等しく, スタート後の加速は従来のスケートと同じく達成されていることがわかった. これらのことから, 「スタートから20mまでのタイムを短縮できれば, 500mでもスラップは有利になる」ことを示唆した.

(3) スラップの力学的利点と滑走技術

スラップ開発グループの一人, オランダの de koning 博士は, 「スラップでは踵が挙上された状態でもブレードが氷に接しており, 従来のスケートよりも氷への力の作用時間が長くなる, つ

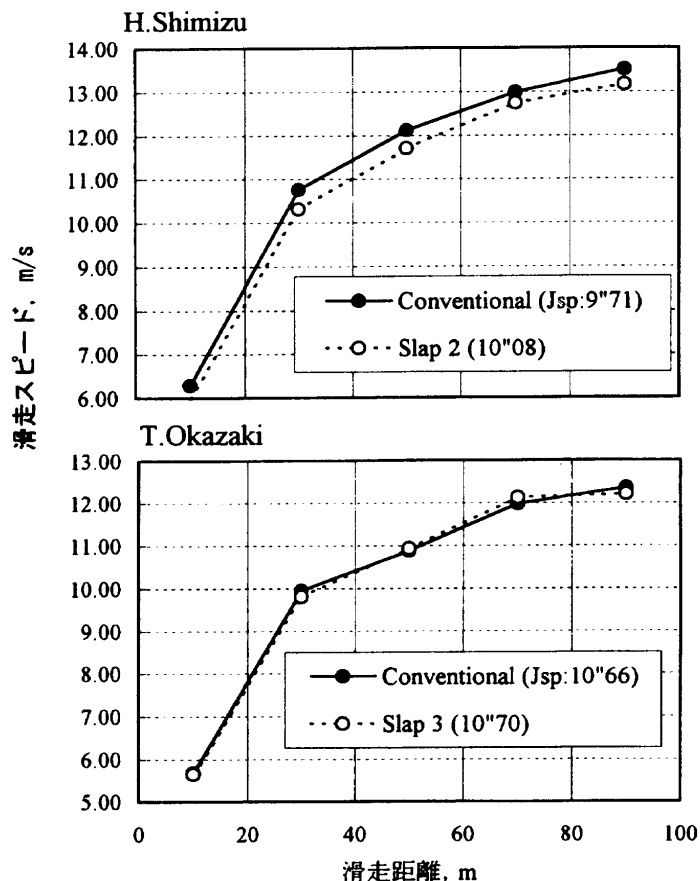


図3 従来型スケートとスラップスケートにおけるスタートから100m通過までの滑走スピード変化の比較.

まり力積が大きくなるので加速が大きくなる」という力学的要因をネットワークを介して報じていた²⁾.

図4は, 我々の先行研究で計測した元世界記録保持者における直線滑走中のブレード反力で, 上が鉛直成分, 下が水平成分である. 従来のスケートでは, 優れた選手は, 水平成分の発揮タイミングを早める技術によって力積を大きくし, 有効な加速を生み出していることがわかってきた³⁾. これに対して, 彼らの主張するスラップの力学的利益は, ストローク後半の力積と解釈できた.

講義では, 「ストローク後半の力積はスラップを用いることによってどの選手にも得られる利益であろう. したがって, 全選手がスラップに慣れてしまえば, 加速技術の優劣は結局, ストローク前半の力積を得られるかどうかによって決まる」と説明した. また, 踵をあげることを意識するあまりにキックが後方に流れる選手には, 加速が生じる力学的なメカニズム⁴⁾を説明し, 「スラップにより踵が挙上するようになっても, 有効なキックはブレードに対して水平・垂直な成分のみであることを強調した.

(4) スラップの解剖学的利点とトレーニング

スラップのもう一つの利点として, 開発者の一人, 故 Ingen Schenau 教授⁵⁾は, 「従来のスケートでは股関節からスケートブレードまでのパワーの流れが足首で抑制されていた」と論じ, スラップの使用により足底屈運動が可能になるのでスケーター

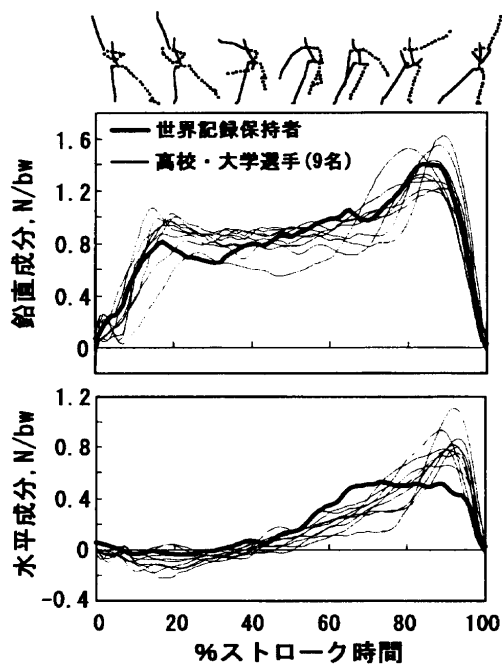


図4 スピードスケート直線ストロークにおけるブレード反力。上が鉛直成分，下が水平成分。細線は高校・大学選手9名，太線は世界記録保持者。

のパワー出力が約15%大きくなると推定した(解剖学的要因)。

我々は、トレーニングの示唆を得るために、オリンピック前年に開催された世界選手権(長野市)において一流長距離選手のスラップ動作を三次元解析用に撮影した。この大会はスラップ使用選手と従来のスケートを使用する選手が混在する最後の世界選手権となった。

図5は両スケートにおける大腿二頭筋長頭，大腿直筋，腓腹筋の筋長の変化を，男子5000mでスラップ1位のVeldkamp選手と，従来のスケート使用選手の中で最も成績の良かった白幡

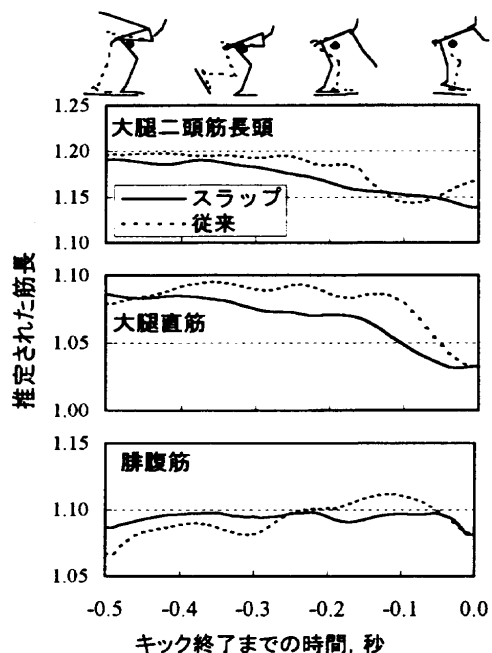


図5 スラップスケートと従来のスケートにおけるストローク中の筋長変化。筋長は関節角度から推定したもので、1.0を基準値として規格化されている。

選手の下肢関節角度をHawkins et.al⁶⁾の推定式に入力して算出したものである。ストローク中の二関節筋の筋長変化は，大腿二頭筋長頭，大腿直筋，腓腹筋のいずれもスラップで小さいことがわかる。特に，腓腹筋は従来のスケートでは，足関節が屈曲し膝関節が伸展するストローク中盤から大きく伸ばされていたが，スラップではほとんど変化しなかった。

講義では，図6に示す模式図を用いて，「従来のスケートでは踵が挙上しないため，ストローク中に腓腹筋が伸ばされ，その張力が大腿骨を後方，すなわち膝関節の伸展を妨げる方向に引っ張っていた。一方，スラップでは，踵が挙上するため腓腹筋が伸ばされず，膝関節伸展筋群の負担が小さくなる」と推論した。そして，スラップに有効なトレーニングとして，大臀筋，ハムストリングス，背筋などの股関節伸筋群の強化を示唆した⁷⁾。

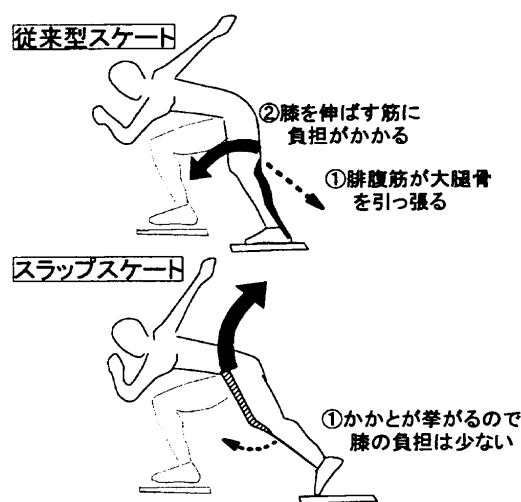


図6 従来型スケートとスラップスケートにおける筋のコーディネーションの比較

3. 競技会におけるバイオメカニカルフィードバック

オリンピック2ヶ月半前のワールドカップカルガリー大会では，スラップの使用により男子500mを除くすべての短距離種目の世界記録が更新された。ここでは，スラップ使用により優れた成績を残した有力外国選手と日本代表選手の500mレース内容を比較し，競技現場にフィードバックした事例⁸⁾について報告する。

(1) 直線滑走動作の比較

データ収集は，海外試合でスタッフが筆者1名のためデジタルVTRカメラ1台を用いたVTR撮影を行った。図2に示したように区間ごとの滑走スピードの分析と有力選手の滑走動作を得るために，ホームストレート中央の観客席上段からスタートの閃光を写し込んだのち，動作の特徴のみられるバックストレート滑走中には一方の選手を拡大して追従撮影した(60fields/s, 露出1/1000s)。

図7は，女子有力外国選手および日本選手におけるバックストレート中央付近の滑走動作を比較したもので，左から順に，

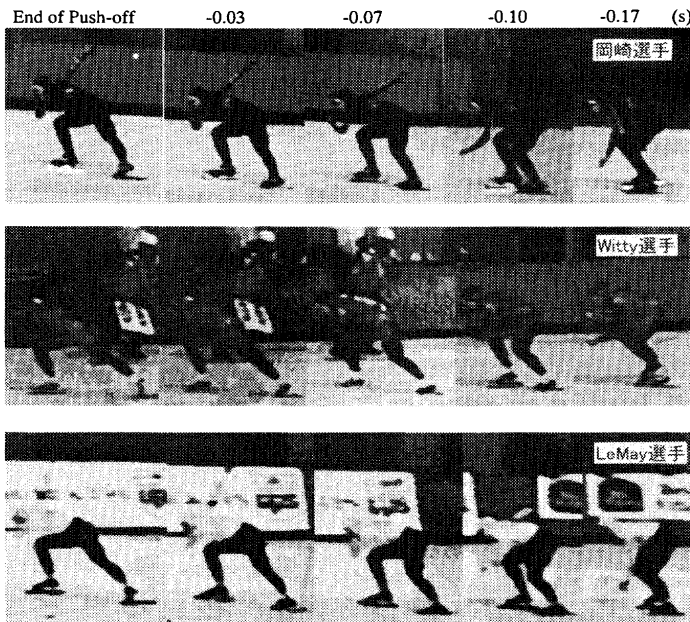


図7 500mバックストレート中央付近のスラップスケート滑走動作(女子選手)

ブレードが氷から離れる瞬間, 0.03 秒前, 0.07 秒前, 0.10 秒前, 0.17 秒前を示している。上から順に, 最高順位で 8 位と出遅れた岡崎選手, この大会 1000m で世界記録を樹立した Witty 選手(アメリカ), 500m で世界記録の LeMay 選手(カナダ)である。

両外国選手は, キック終了時の両スケート間の前後幅が岡崎選手に比べて大きく, キック脚に対して身体をより前方に運んでいる。スラップの開いている角度は, 岡崎選手 32° に対し, Witty 選手 54° , LeMay 選手 48° と外国選手で大きかった。また, キック終了 0.1 秒前からのキック脚の下腿の動きに着目してみると, 岡崎選手の下腿が徐々に立つように, つまり膝が後ろに戻るように変化しているのに対し, 両外国選手では逆にやや前に傾くように変化している。さらに, 岡崎選手は完全に伸び切っていたが, 両外国選手は少し曲がっていた。男子選手にも同様の傾向がみられた。

大会終了後, これらの資料をコーチ陣に提示し, 「膝を伸ばそうとする意識が下腿の後傾を生み出し, スラップの開きを小さくしているのではないか, もっと股関節の伸展動作を意識させてはどうか」と提案した。

科学者として競技会に帯同した感想としては, スラップ登場による混乱と目前に迫る地元オリンピックへの焦燥感で迎えたシーズンであったが, ビデオカメラ 1 台によるほんの簡単な解析により, “勝者には勝因を, 敗者には敗因を” 考えるヒントを提供することが出来たと思っている。

4. 日本チームの用具開発

限られた時間内に日本選手のスラップ対策を万全にするには, コーチ・選手へ科学的な見解を伝達するだけでなく, 国内のスケートメーカーに科学的な知見からみたスラップ用具に関する改良方針を発信することも重要な役割の 1 つだった。特に, 滑走中のスケートブレードには, 曲げ(スケート左右)方向の力がかなり大きいことや, ストローク中に大きなフリーモーメント

が作用することを力説し, スラップの支点や受け部分, 靴との接合部分の剛性を高める必要があることを訴えた⁹⁾。

ここでは, 筆者が提案者となり用具メーカー探しに始まり, 開発, 選手・コーチへの説得, 成果の評価に至るまでを行った 2 つの競技力向上を意図した用具開発例をご紹介します。

(1) 短距離向けダンパースラップの開発

当初, メダルの期待される短距離種目での問題点は, 先述(図 3)のように, スラップでスタート動作が行い難いことであった。そこで, 図 8 に示すようにスラップ開閉部に油圧ダンパーを挟み, 開閉角速度の大きなスタート時ではスラップが開かないように, かつ開閉角速度の比較的小さな定常滑走時では抵抗が作用しないような制御機構を提案した(協力, カヤバ工業)。

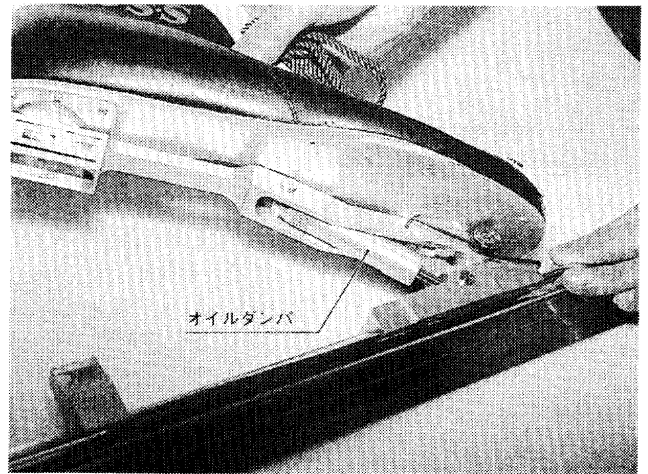


図8 オイルダンパー付きスラップスケート(開いた状態)。支点付近に特製油圧ダンパーが内蔵され, スラップが速く開くときには抵抗力が作用し, 低速で開くときには抵抗がかからないように設計されている。

懸架装置(サスペンション)に用いる油圧式緩衝器は自動車ではショックアブソーバ, 鉄道や産業向けにはオイルダンパと一般に呼ばれ, いずれも往復運動に対して抵抗(減衰)力を発生して人間にとって不快な振動を抑える働きをもつ。この技術のスラップに組み込むために, 外径を 12 ~ 16mm, 重量にして 21 ~ 25g の小型ダンパを設計・開発した¹⁰⁾(協力, カヤバ工業)。このダンパはスラップのブレードが開くときにロッド部が伸び方向に引っ張られ, その引っ張りの速度(スラップ開き角速度)の 2 乗に応じた抵抗力が作用し, 逆にスラップがバネにより閉じる時にはダンパ内のチェック弁が開いて抵抗無く閉じ復帰するようになっている。また, FEM 解析(協力, カヤバ工業)に基づく肉抜きと航空機用の超ジュラルミン使用により通常のスラップと同程度の軽量化と剛性アップが図られた。

一名の選手がオリンピック選考会までこれを用い大幅に自己新を更新したが, 最終日に転倒しダンパースラップのオリンピック出場はならなかった。

(2) カーボン製のスラップ専用シューズ

スラップでは踵が挙上する局面でキックが終了するが, それまで選手が好んで使用していた皮製の靴では, 靴底が柔らかい

ために踵挙上時に変形し、エネルギーのロスが生じる可能性があった。そこで、靴底の剛性を高めるためにカーボン素材に着目し、カーボン製の靴底に皮革を張りつける方法でスラップ専用のシューズを開発した(協力、東京アールアンドデー)。

図9には、カーボン製のスラップ専用靴の製作工程を写真で示した。まず、従来のスケートでは主力選手のほとんどの靴製作を手がけたサンエスケートの協力で、選手一人一人に合わせた石膏を作成し(上、堀井選手の足型)、その上から予め樹脂の含浸されたカーボン繊維(プリプレグ材)を馴染ませながら積層・成形し、真空状態で石膏とカーボンを密着させた後、加熱・加圧しながら樹脂を硬化させる(写真中央、オートクレーブ成形法、協力、東京アールアンドデー)。このプリプレグ材使用によるオートクレーブ成形法は、F-1レース用車両のシャーシの製作などに応用されていたもので、従来のFRPと比較して軽量、高強度、高剛性が達成され面歪みや経年変化が少ないというメリットがある¹¹⁾。写真(下)は、カーボン製の靴底に皮革をかぶせて完成された清水宏保選手の金メダルを獲得した靴である。

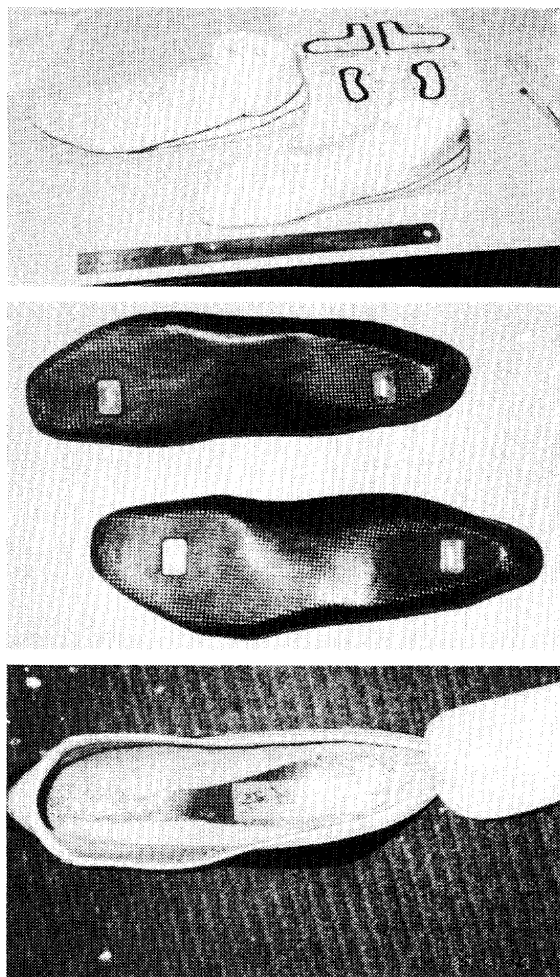


図9 カーボン製のスラップ専用シューズができる過程。(上)選手ひとりひとりの足型石膏をとる(協力:サンエスケート)。(中)石膏に樹脂の含浸されたカーボンファイバーを巻き付け、オートクレーブ成形し、カーボン靴底を作成する(協力:東京R & D)。(下)完成したカーボン製の靴。写真は清水選手が金メダルを獲得した靴。

この製作方法によりカーボン製の靴は、従来の靴(250～320g)に比べ、重量が約半分の110～130gに軽量化され、長野オリンピックでは日本代表20名のうち7名がこれを用いた。

5. おわりに

本稿で紹介したスラップに関する科学的なサポート活動は、オリンピックという国民的行事が母国開催であったことに加え、スラップという用具革命が選手ならびにコーチの誰にとっても全く新しいものであり、かつ時間が極めて限られていたことによる危機感があったという点でこれまでのスポーツの歴史をみてもかなり特殊な事例といえそうである¹²⁾。また、そのような状況に後押しされ、研究者が競技力向上を意図して用具メーカーを探し、共同開発し、念願の金メダルを獲得したことも稀な事例かもしれない。

図10は、競技力向上を意図した用具開発における研究者の役割について考えたものである。本稿の順に従うわけではないが、まず、図中①に示すように、スラップの国際舞台への登場のしかたそのものがオランダの研究者による選手・コーチへのスラップ有効性の主張から始まった¹³⁾。国内では筆者が期待のかかる短距離選手がスラップを使用するかどうかの判断材料を提供し、やはりスラップ使用を主張した。そしてこれらの主張は現時点でも間違いではなかったと言えそうである。

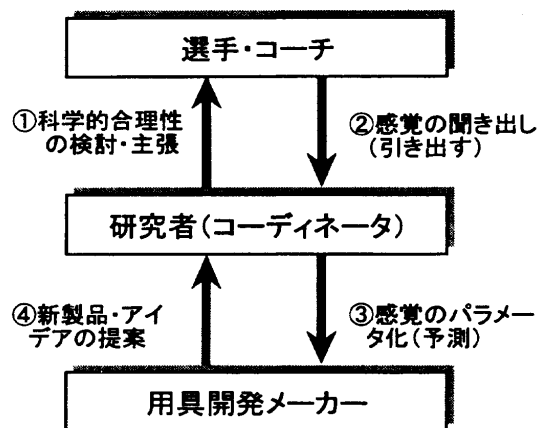


図10 競技力向上を意図した用具開発における研究者の役割

次に、図中②にあるように、「(スラップでは)スタートが難しい」ことや「スケートの走行性・安定性が悪い」ことを、選手・コーチから聞き出した。実際には、「聞き出す」だけではなかなか真の情報が得られることは少なく、細かい感覚を「引き出す」ような問答が必要であった。そして、図中③に示すそれらの感覚に内在される問題を抽出し、過去のデータに示される部分や自らの運動経験・観察経験と照らし合わせることにより、具体的な力学的問題点を指摘する。この「感覚のパラメータ化」作業が最も難しく、今思うと、ある意味でいい加減な憶測・予測の世界の話であった。しかし、当時は(実験で確かめるにも)既にオリンピック前年のシーズンは終了してリンクはどこにもなく検証実験をするすべも時間もなかった。

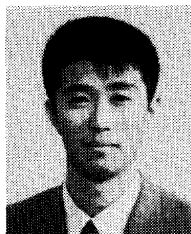
そんな当て推量の夢物語に乗ってくれる用具メーカーを探すのは、これもまた大変な仕事だった。カーボン製の靴を手がけ

てくれた東京アールアンドデーに辿り着いたのは、カーボン製のスポーツ用品メーカーをあたって5件目であった。これでダメだったら諦めようというときに「やりましょう」と言って頂いた。その後は、④にあるように、用具メーカーにも様々なアイデアがあり、開発は加速度的に進んだ。そして、図10に示すようなループがいったん出来てしまうと、優れた道具の採用を選手・コーチに主張するのはとても容易いことだった。今ではカーボン製の靴を日本のほとんどの代表選手が履いている。

参考文献

- 1) de koning, J. J.: From biomechanical theory to application in top sports: The klapskate story. International society of Biomechanics X VII th congress, pp.7 (1999)
- 2) de koning (私信): "Backgrounds of slapskate".
- 3) 結城匡啓, 阿江通良, 藤井範久: スピードスケート滑走中のブレード反力, バイオメカニズム13, 東京大学出版会, 41-51 (1996)
- 4) 結城匡啓, 阿江通良, 藤井範久: スピードスケートの直線ストロークにおける加速の力学的メカニズム, 日本バイオメカニクス学会編 身体運動のバイオメカニクス, 第13回日本バイオメカニクス学会編集委員会, 211-217 (1997)
- 5) Ingen Schenau, G. J. van, et al.: A new skate allowing powerful plantar flexions improves performance. Med. and Sci. in Sports and Exercise, 531-535 (1996)
- 6) Hawkins, D and Hull, M. L.: A method for determining lower extremity muscle-tendon lengths during flexion/extension movements. J. Biomechanics 23(5), 487-494 (1990)
- 7) 結城匡啓: スピードスケートの動作解析, 計測と制御, 38(4), 236-241 (1999)
- 8) 結城匡啓, 河合季信, 伊藤静夫, 阿江通良: 97/98 ワールドカップ前半戦 500m のレース分析およびスラップスケート対策 —長野オリンピックに向けた科学的知見のフィードバック—, 平成9年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No. II 競技種目別競技力向上に関する研究—第21報—, 335-361 (1998)

- 9) 結城匡啓: 長野オリンピックに向けた新種のスポーツ用具“スラップスケート”開発 —研究者の立場から—, 日本機械学会スポーツ工学シンポジウム, 11-12 (1999)
- 10) 露木保男, 三浦俊哉: スケート靴用オイルダンパの開発, フルイドパワーシステム(日本油空圧学会誌), 29(2) 67-69 (1998)
- 11) 本島伸次: スラップスケートの開発 —用具メーカーの立場から—, 日本機械学会スポーツ工学シンポジウム, 1-9 (1999)
- 12) 結城匡啓: 長野オリンピックのメダル獲得に向けたバイオメカニクスのサポート活動 —日本スピードスケートチームのスラップスケート対策—: 第49回日本体育学会バイオメカニクス専門分科会キーノートレクチャー, 体育学研究, 44(1), 33-41 (1999)
- 13) オリンピック観戦ガイド'98, 日経メカニカル No.521, 50-55 (1998)



結城匡啓 (ゆうき まさひろ)

1988年筑波大学体育専門学群卒業。1997年同大学大学院体育科学研究科修了。博士(体育科学)。1998年筑波大学体育科学系助手。現在、信州大学教育学部講師(スポーツ科学教育講座)。身体運動(特に冬季スポーツ)のバイオメカニクスの研究に従事。

国際バイオメカニクス学会, 日本バイオメカニクス学会, 日本スポーツ運動学会, 日本体育学会の会員。(バイオメカニズム学会正会員)